



19) **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12) **Offenlegungsschrift**
10) **DE 197 58 111 A 1**

51) Int. Cl.⁶
B 01 J 2/02
B 22 F 9/08

21) Aktenzeichen: 197 58 111.0
22) Anmeldetag: 17. 12. 97
43) Offenlegungstag: 1. 7. 99

DE 197 58 111 A 1

71) Anmelder:
Schulz, Gunther, Dr., 12205 Berlin, DE

74) Vertreter:
Stengör, Watzke & Ring Patentanwälte, 40547
Düsseldorf

72) Erfinder:
gleich Anmelder

56) Entgegenhaltungen:

DE 35 33 964 C1
DE 33 11 343 A1
EP 05 99 173 A1

G.Schulz, "Laminar sonic...", Paper presented at
the PM²TEC'96 World Congress on Powder Metal-
lurgy + Particulate Materials, Washington, D.C.,
USA, June 16-21, 1996, S.1-12;
Referat aus Chemical Abstracts, Vol.119, S.363,
1993, Referat Nr.:119:231364p;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54) Verfahren zur Zerstäubung von Schmelzen unter Verwendung filmbildender linearer Düsen

57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von feinen Pulvern mit vorzugsweise sphärischem Habitus aus Metallen, Metallegierungen, Salzen, Salzgemischen oder Kunststoffen aus ihren Schmelzen durch Verdüsen mit Gasen, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelze aus einer Schmelzdüse mit rechteckigem oder weitgehend rechteckigem Austrittsquerschnitt ausfließt, anschließend gemeinsam mit einem Verdüsungsgas durch eine lineare zunächst konvergierende und dann divergierende laminar durchströmte Gasdüse mit rechteckigem oder weitgehend rechteckigem Querschnitt (lineare Laval-Düse) tritt, wodurch die Schmelze erfindungsgemäß von der Gasströmung zu einem dünnen Film verstreckt und gleichzeitig stabilisiert wird. Dieser dünne Film wird unterhalb des engsten Querschnitts der Laval-Düse mit hohem spezifischem Impuls sehr gleichmäßig zu einem feinen Pulver mit enger Korngrößenverteilung zerstäubt. Das Verfahren kann sehr einfach durch Veränderung der Düsenquerschnitte an jede gewünschte Produktionsleistung angepaßt werden und hat eine sehr hohe Sicherheit gegen Verstopfungen und Erfrierungen der Schmelzedüse.

DE 197 58 111 A 1

Zur Herstellung von Metallpulvern sind Gasverdüsungstechniken industriell weit verbreitet. Es werden unterschiedlichste Düsenkonstruktionen eingesetzt – eine gute Übersicht findet sich in A. J. Yule und J. J. Dunkley: "Atomization of Melts", Oxford, 1994, S. 165–189 [1] – denen allen gemeinsam ist, daß das unter Druck stehende Verdüsungsgas aus einer bzw. mehreren Gasdüsen entweicht und sich als turbulenter Strahl unter einem Winkel der aus einer Schmelzedüse auslaufenden Schmelze nähert und diese zerstäubt. Auf dem Weg zur Schmelze verliert das Gas einen großen Teil seiner Energie. Das Ergebnis bei Verdüsungsgasdrücken bis etwa 35 bar sind relativ grobe Metallpulver mit mittleren Korndurchmessern d_{50} im Verdüsungszustand um 50 μm und darüber. Die Pulver haben zumeist eine breite Korngrößenverteilung, weil der Zerstäubungsimpuls durch die Turbulenz starken Schwankungen unterliegt. Spezielle Hochdruckdüsen mit Betriebsdrücken von bis zu 100 bar sind entwickelt worden (z. B. J. Ting et al.: "A novel high pressure gas atomizing nozzle for liquid metal atomization", Adv. Powder Metall. Particulate Mater. (1996) 1, S. 97–108 [2]), die bei sehr hohem Gasverbrauch mittlere Korngrößen von ca. 20 μm erzeugen können. Verfahren mit turbulenter Gasströmung sind alle nicht zur direkten Herstellung von feinen Pulvern mit mittleren Korndurchmessern d_{50} um 10 μm geeignet sind.

Ein Weg zur Herstellung von feinen Metall- und Keramikpulvern (DE 33 11 343; A. Walz: "Verfahren zur Herstellung von feinen Metallpulvern sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens" [3]) ist die Verwendung von laminaren Gasströmungen in einer konzentrischen Laval-Düse mit vorgewärmten Verdüsungsgas. Die Schmelzedüse ist so positioniert, daß sie sich im konvergenten Teil der Laval-Düse befindet, d. h., daß die Schmelzedüse in die Laval-Düse hineinragt. Die Strömung im Oberteil der Laval-Düse ist laminar. Im Vergleich zu Verfahren mit turbulenten Gasströmungen ergeben sich feinere Pulver mit engerer Korngrößenverteilung bei vergleichsweise geringerem spezifischen Gasverbrauch (siehe Fig. 2 in [4]). Der spezifische Gasverbrauch für die Herstellung eines Stahlpulvers mit einem mittleren Korndurchmesser von 10 μm liegt bei etwa 7–8 $\text{Nm}^3 \text{Ar/kg}$ [4] entsprechend ca. 12,5 bis 14,2 kg Ar/kg Stahl .

Eine Variante dieses Verfahrens gibt DE 35 33 964 (A. Walz: "Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Feinstpulver in Kugelform" [5]) an, bei der das Verdüsungsgas über einen radialsymmetrischen, beheizbaren Gastrichter in die Laval-Düse eingeführt wird, wobei das aus der innerhalb dieses Gastrichters platzierten Schmelzedüse austretende Metall durch Wärmeübertragung durch Strahlung, die vom beheizten Gastrichter ausgeht, überhitzt bzw. beheizt wird.

Schließlich wird in DE 37 37 130 (A. Walz: "Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Feinstpulver" [6]) eine andere Verfahrensvariante beansprucht, bei der der durch das strömende Gas in der Laval-Düse entstehende Unterdruck dazu benutzt wird, Schmelze aus einer separaten Schmelzeinrichtung anzusaugen. Auch hierbei handelt es sich um ein radialsymmetrisches Düsensystem mit innerhalb der Laval-Düse platzierter Schmelzedüse.

Aus G. Schulz: "Laminar Sonic and Supersonic Gas Flow Atomization – The NANOVAL-Process", Adv. Powder Metall. & Particulate Mater. (1996), 1, S. 43–54 [4] ist weiterhin bekannt, daß es zur Herstellung feiner Metallpulver nach obiger Patentfamilie notwendig ist, den aus der radialsymmetrischen Düse austretenden Massenstrom klein zu halten – angegeben sind 12 bis 30 kg/h und Düse bei Schmelzedü-

sendurchmessern von 1 mm oder weniger – wenn feine Pulver hergestellt werden sollen.

Bei den vorgenannten Verfahren, die laminare Gasströmungen zur Verdüsung einsetzen, bestehen gravierende Nachteile in technischer und vor allem wirtschaftlicher Hinsicht: So sind beispielsweise bauartbedingt die verwendeten konzentrischen oder auch radialsymmetrischen Düsensysteme (Schmelzedüsendurchmesser von 1 mm oder weniger) besonders anfällig gegenüber mechanischen Verstopfungen durch mitgerissene Fremdpartikel oder Gasblasen. Aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von äußerer Schmelzedüsenoberfläche zum Schmelzevolumen treten hohe Wärmeverluste auf, die ein unerwünschtes Einfrieren bewirken können und die dann, wie auch die mechanischen Verstopfungen, einen Abbruch der Verdüsung und längere Stillstandszeiten zur Folge haben. Darüberhinaus sind die angegebenen Produktionsleistungen gering und die spezifischen Gasverbräuche hoch. Bei der Herstellung von feinen Pulvern bestimmen die Produktionsleistung und der spezifische Gasverbrauch ganz entscheidend die Fertigungskosten. Es besteht daher Bedarf für ein Verdüungsverfahren, daß durch geringe Gasverbräuche und hohe Produktionsleistung gekennzeichnet ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung feiner, gasverdüster Pulver zur Verfügung zu stellen, das die oben beschriebenen Nachteile insbesondere im Hinblick auf eine wirtschaftliche Massenproduktion nicht aufweist. Das heißt, es sollen Metall-, Metalllegierungs-, Salz-, Salzgemisch- oder auch Polymerschmelzen großtechnisch mittels einer Gasverdüsung möglichst kostengünstig, insbesondere aber mit einem geringem Gasverbrauch und hohem Schmelzedurchsatz fein und gleichmäßig zerstäubt werden. Weiterhin soll die Schmelzedüse gegen mechanische Verstopfung aufgrund unreiner Schmelzen sowie gegen Einfrieren weitestgehend stabil sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem die Schmelzedüse mit einem rechteckigem oder weitgehend rechteckigem Querschnitt ausgebildet wird, wobei die Querschnittsfläche über eine Veränderung der Länge des Rechtecks so angepaßt werden kann, daß jeder beliebige Schmelzedurchsatz zu erreichen ist. Überraschenderweise gelingt es, den aus der rechteckigen Schmelzedüse primär austretenden Schmelzefilm, der wegen seiner großen Oberfläche unter freiem Ausfluß instabil wäre, durch das Einbringen in die beschleunigte Gasströmung im konvergenten Teil der hier ebenfalls rechteckig oder weitgehend rechteckig ausgebildeten Laval-Düse zu stabilisieren. Damit wird ein so günstiges Verhältnis von äußerer Schmelzedüsenoberfläche zum Schmelzevolumen erreicht, daß Verstopfungen durch Einfrierungen ausgeschlossen werden können. Einzelne Fremdpartikel in verunreinigten Schmelzen beeinflussen im ungünstigsten Falle nur einen geringen Teil des Querschnittes der Schmelzedüse, ohne daß aber der Verdüsungsvorgang zum Erliegen kommt. Unterhalb des engsten Querschnittes der Laval-Düse wird der Schmelzefilm mit hohem spezifischem Impuls gleichmäßig zu einem feinen Pulver mit vorzugsweise sphärischem Habitus zerstäubt.

Zeichnung 1 zeigt das erfindungsgemäße Verdüsprinzip. Ein Gasraum (1) mit hohem Druck wird von einem Gasraum (2) mit niedrigem Druck durch eine zunächst konvergierende und dann divergierenden Gasdüse mit rechteckigem oder weitgehend rechteckigem Querschnitt (\approx lineare Laval-Düse) getrennt. Das Verhältnis des Drucks oberhalb der Laval-Düse p_1 und unterhalb der Laval-Düse p_2 entspricht dabei mindestens dem kritischen Druckverhältnis des verwendeten Verdüsungsgases, so daß das Gas im engsten Querschnitt der Laval-Düse Schallgeschwindigkeit erreicht. Vorzugsweise ist das Druckverhältnis $p_1/p_2 > 2$,

besonders bevorzugt >10 . Je höher der Verdüsungsgasdruck p_1 ist, desto feiner ist das erzeugte Pulver. Aus der Schmelzedüse (4) mit rechteckigem oder weitgehend rechteckigem Austrittsquerschnitt fließt die Schmelze (5) aus. Die Schmelzedüse kann als Gießverteiler oder Schmelzriegel ausgebildet sein. Die Schmelze des zu zerstäubenden Materials wird über bekannte Verfahrenstechniken erzeugt und bereitgestellt. Der Austritt der Schmelzedüse ist oberhalb der Laval-Düse positioniert und parallel zu dieser ausgerichtet. In Folge der Druckdifferenz strömt das Verdüsungsgas vom Gasraum (1) in den Gasraum (2). Im konvergenten Teil der Laval-Düse wird das Gas in laminarer Strömung bis auf Schallgeschwindigkeit im engsten Querschnitt beschleunigt. Das Gas strömt immer mit höherer Geschwindigkeit als die Schmelze, stabilisiert den Schmelzefilm (6), verstreckt und beschleunigt diesen. Unterhalb des engsten Querschnitts wird der dünne Schmelzefilm schließlich mit hohem spezifischen Impuls über seine gesamte Länge gleichmäßig zu einem feinen Partikelstrahl (7) aus Schmelzetropfen zerstäubt, die dann ihre Wärme abgeben und zu einem feinen Pulver erstarren. Dieser stabile dünne Film (6) ist die Voraussetzung für die Erzeugung besonders feiner Pulver ($d_{50} = \text{ca. } 10 \mu\text{m}$).

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß das Verdüsungsgas zwar vorgewärmt werden kann, die Vorwärmung aber keine notwendige Voraussetzung für die Durchführbarkeit des Verfahrens ist. Vorzugsweise wird auf eine Vorwärmung des Verdüsungsgases verzichtet, wodurch zum einen der apparative Aufwand reduziert und zum anderen Energie eingespart wird. Aus den gleichen Gründen wird die aus der Schmelzedüse austretende Schmelze bevorzugt nicht zusätzlich mittels Strahlung aufgeheizt, obwohl dies möglich wäre.

Wenn der zu verdüsende Stoff nicht mit dem Verdüsungsgas reagiert, also inert gegenüber dem Gas ist, bilden sich aus den Schmelzetropfen unter dem Einfluß der Oberflächenspannung kugelförmige Partikel aus. Reagiert der zu verdüsende Stoff ganz oder teilweise mit dem Verdüsungsgas und bilden sich dabei Reaktionsprodukte, so können diese die Einformung der Schmelzetropfen zu Kugeln behindern, und es bilden sich unregelmäßig geformte Pulverteilchen. Wird in den Partikelstrahl ein Substrat in einem Abstand, bei dem die Partikel zumindest noch teilweise flüssig sind, eingebracht, so ist die direkte Herstellung eines Halbzeuges (Sprühkompaktierung) möglich.

Sowohl die Verfahrensvariante mit rechteckigem Querschnitt von Schmelze- und Laval-Düse gemäß Anspruch 1 als auch die Verfahrensvariante mit weitgehend rechteckigem Querschnitt von Schmelze- und Laval-Düse gemäß Anspruch 2 sind dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der beiden Rechteckseiten a_{sd} (lange Seite) und b_{sd} (kurze Seite) des Austrittsquerschnitts der Schmelzedüse mindestens $a_{sd}/b_{sd} > 1$, bevorzugt >2 , besonders bevorzugt >10 beträgt, daß die Länge der linearen Laval-Düse im engsten Querschnitt a_{ld} größer als die Länge der Schmelzedüse a_{sd} ist, daß das Verhältnis der Breite der Laval-Düse zur Breite der Schmelzedüse $b_{ld}/b_{sd} > 1$ und <100 , bevorzugt <10 ist und daß der Schmelzedurchsatz durch einfache Verlängerung der Längsseite der Schmelzedüse a_{sd} und entsprechende Verlängerung der Längsseite der Laval-Düse a_{ld} um den gleichen Betrag auf die gewünschte Produktionsleistung angepaßt werden kann, ohne das sich die Korngröße des Pulvers verändert oder sich der spezifische Gasverbrauch erhöht. Eine Projektion der Schmelzedüsenaustrittsfläche (1) auf den engsten Querschnitt der Laval-Düse (2) zeigt Zeichnung 2 für die erfindungsgemäße Verfahrensvariante mit weitgehend rechteckigem Querschnitt.

Das Verhältnis der Querschnittsflächen von Schmelzedü-

senaustritt zum engsten Querschnitt der Laval-Düse ist bei linearen Systemen immer größer als bei radialsymmetrischen Düsen. Da die Durchflußmengen von Gas und Metall bei sonst gleichen Bedingungen proportional zur entsprechenden Düsenquerschnittsfläche sind, ergeben sich für lineare Systeme grundsätzlich geringere spezifische Gasverbräuche. Die Einsparung nimmt mit der Länge des Düsen Systems zu.

Durch die Proportionalität von Schmelzedüsenquerschnittsfläche und Metaldurchsatz läßt sich durch Anpassung der Düsenlänge jede gewünschte Produktionsleistung auf einfache Weise einstellen. Die charakteristischen Eigenschaften des Metallpulvers wie Korngröße, Breite der Korngrößenverteilung und Kornform bleiben dabei unverändert, der spezifische Gasverbrauch hingegen sinkt wie oben beschrieben.

Beispiele

Ohne einschränkend zu wirken ist in den folgenden Beispielen die erfindungsgemäße Herstellung feiner Pulver mit vorzugsweise sphärischen Habitus beschrieben.

1. Eine Lötzinnschmelze Sn62Pb36Ag2 mit einer Temperatur von 400°C fließt aus einer Graphitschmelzedüse mit einem rechteckigen Austrittsquerschnitt von 15 mm^2 (Länge von 30 mm, Durchmesser von 0,5 mm) aus. Die Lavaldüse hat an ihrem engsten Querschnitt eine Länge von 33 mm und eine Dicke von 3,0 mm. Als Verdüsungsgas wird Stickstoff mit einem Überdruck (über Umgebungsdruck) von 20 bar verwendet. Im Sprühturm befindet sich ebenfalls Stickstoff mit einem Überdruck von 0,1 bar. Die Verdüsung findet wie folgt statt:

- Schmelzedurchsatz: $143 \text{ g/s} = 8,6 \text{ kg/min} = 516 \text{ kg/h}$
- spezifischer Gasverbrauch: $2,8 \text{ kg N}_2/\text{kg Metall}$
- mittlerer Korndurchmesser: $9,0 \mu\text{m}$.

2. Eine Stahlschmelze der Legierung 42 Cr Mo 4 (Werkstoffnr. 1.7225) mit einer Temperatur von 1750°C fließt aus einer Zirkondioxidschmelzedüse mit einer weitgehend rechteckigen Austrittsöffnung von 35 mm^2 (Länge von 50 mm, Durchmesser von 0,7 mm) aus. Die Lavaldüse hat an ihrem engsten Querschnitt eine Länge von 55 mm und eine Dicke von 3,5 mm. Als Verdüsungsgas wird Argon mit einem Überdruck (über Umgebungsdruck) von 30 bar verwendet. Im Sprühturm befindet sich ebenfalls Stickstoff mit einem Überdruck von 0,1 bar. Die Verdüsung findet wie folgt statt:

- Schmelzedurchsatz: $333 \text{ g/s} = 20 \text{ kg/min} = 1200 \text{ kg/h}$
- spezifischer Gasverbrauch: $4,5 \text{ kg Ar/kg Metall}$
- mittlerer Korndurchmesser: $9,5 \mu\text{m}$.

3. Eine Silberschmelze mit einer Temperatur von 1060°C fließt aus einer Graphitschmelzedüse mit einem weitgehend rechteckigen Austrittsquerschnitt von 20 mm^2 (Länge von 20 mm, Durchmesser von 1,0 mm) aus. Die Lavaldüse hat an ihrem engsten Querschnitt eine Länge von 24 mm und eine Dicke von 4,0 mm. Als Verdüsungsgas wird Stickstoff mit einem Überdruck (über Umgebungsdruck) von 18 bar verwendet. Im Sprühturm befindet sich ebenfalls Stickstoff mit einem Überdruck von 0,1 bar. Die Verdüsung findet wie folgt statt:

- Schmelzedurchsatz: $233 \text{ g/s} = 14 \text{ kg/min} = 840 \text{ kg/h}$
- spezifischer Gasverbrauch: $1,67 \text{ kg N}_2/\text{kg Me-}$

tall

- mittlerer Korndurchmesser: 9,0 µm.

4. Eine Aluminiumschmelze mit einer Temperatur von 800°C fließt aus einer Tonerdeschmelzedüse (Al_2O_3) mit einem weitgehend rechteckigen Austrittsquerschnitt von 120 mm² (Länge von 200 mm, Durchmesser von 0,6 mm) aus. Die Lavaldüse hat an ihrem engsten Querschnitt eine Länge von 205 mm und eine Dicke von 3,0 mm. Als Verdüsungsgas wird ein Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff mit einem Sauerstoffgehalt von 1% mit einem Überdruck (über Umgebungsdruck) von 30 bar verwendet. Im Sprühturm befindet sich ebenfalls das Stickstoff/Sauerstoffgemisch mit einem Überdruck von 0,2 bar, wobei geringe Anteile des Sauerstoffs mit den Aluminiumpartikeln oberflächlich reagieren und eine dünne, stabile Oxidhaut ausbilden. Die Verdüsung findet wie folgt statt:

- Schmelzedurchsatz: 785 g/s = 47,1 kg/min = 2826 kg/h

- spezifischer Gasverbrauch: 5,9 kg N_2 /kg Metall
- mittlerer Korndurchmesser: 10,1 µm.

5. Eine Kaliumchloridschmelze mit einer Temperatur von 820°C fließt aus einer Graphitschmelzedüse mit einem weitgehend rechteckigen Austrittsquerschnitt von 30 mm² (Länge von 30 mm, Durchmesser von 1,0 mm) aus. Die Lavaldüse hat an ihrem engsten Querschnitt eine Länge von 33 mm und eine Dicke von 3,5 mm. Als Verdüsungsgas wird Luft mit einem Überdruck (über Umgebungsdruck) von 20 bar verwendet. Im Sprühturm befindet sich ebenfalls Luft mit einem Überdruck von 0,1 bar. Die Verdüsung findet wie folgt statt:

- Schmelzedurchsatz: 220 g/s = 13,2 kg/min = 792 kg/h

- spezifischer Gasverbrauch: 22,1 kg Luft/kg Salz

- mittlerer Korndurchmesser: 8,5 µm.

6. Eine Polyethylenschmelze (LDPE) mit einer Temperatur von 175°C fließt aus einer Edelstahlschmelzedüse mit einem rechteckigen Austrittsquerschnitt von 15 mm² (Länge von 30 mm, Durchmesser von 0,5 mm) aus. Die Lavaldüse hat an ihrem engsten Querschnitt eine Länge von 33 mm und eine Dicke von 3,0 mm. Als Verdüsungsgas wird Stickstoff mit einem Überdruck (über Umgebungsdruck) von 10 bar verwendet. Im Sprühturm befindet sich ebenfalls Stickstoff mit einem Überdruck von 0,1 bar. Die Verdüsung findet wie folgt statt:

- Schmelzedurchsatz: 20 g/s = 1,2 kg/min = 72 kg/h

- spezifischer Gasverbrauch: 9,1 kg N_2 /kg Polymer

- mittlerer Korndurchmesser: 20 µm.

Literatur

- [1] A. J. Yule und J. J. Dunkley:
Atomization of Melts,
Oxford, 1994, S. 165-189.
[2] J. Ting, R. Terpstra, I. E. Anderson, R. S. Figliola. und L. Mi:
A novel high pressure gas atomizing nozzle for liquid metal atomization,
Adv. Powder Metall. Particulate Mater. (1996)1, S. 97-108.
[3] A. Walz:
Verfahren zur Herstellung von feinen Metallpulvern sowie
Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

Patent DE 33 11 343, Anmeldetag: 29.3.1983.

[4] G. Schulz:

Laminar Sonic and Supersonic Gas Flow Atomization - The NANOVAL-Process,

Adv. Powder Metall. Particulate Mater. (1996), 1, S. 43-54.

[5] A. Walz:

Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Feinstpulver in Kugelform,

Patent DE 35 33 964, Anmeldetag: 24.9.1985.

[6] A. Walz:

Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Feinstpulver,

Patent DE 37 37 130, Anmeldetag: 2.11.1987

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zerstäubung von Schmelzen mit Gasen zu feinen Pulvern mit vorzugsweise sphärischem Habitus, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schmelze in Form eines Films aus einer Schmelzedüse mit rechteckigem Austrittsquerschnitt ausfließt, anschließend gemeinsam mit einem Verdüsungsgas durch eine zunächst konvergierende und dann divergierende laminar durch strömte Gasdüse mit rechteckigem Querschnitt (= lineare Laval-Düse) tritt, wobei die laminare beschleunigte Gasströmung im konvergenten Teil der Laval-Düse den Schmelzefilm stabilisiert und gleichzeitig verstreckt, bis nach Passieren des engsten Querschnittes der Schmelzefilm gleichmäßig über seine gesamte Länge zerstäubt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Austrittsquerschnitt der Schmelze- und/oder der Laval-Düse **dergestalt modifiziert ist**, daß die beiden kurzen Seiten des Rechtecks des Düsenquerschnitts durch halbe Kreisbögen mit einem Durchmesser entsprechend der Länge der kurzen Seiten ersetzt sind (weitgehend rechteckiger Querschnitt).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der beiden Rechteckseiten a_{sd} (lange Seite) und b_{sd} (kurze Seite) des Austrittsquerschnitts der Schmelzedüse mindestens $a_{sd}/b_{sd} > 1$, bevorzugt > 2 , besonders bevorzugt > 10 beträgt.

4. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Länge der linearen Laval-Düse im engsten Querschnitt a_{ld} größer als die Länge der Schmelzedüse a_{sd} ist.

5. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der Breite der Laval-Düse zur Breite der Schmelzedüse $b_{ld}/b_{sd} > 1$ und < 100 , bevorzugt < 10 ist.

6. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schmelzedurchsatz durch einfache Verlängerung der Längsseite der Schmelzedüse a_{sd} und entsprechende Verlängerung der Längsseite der Laval-Düse a_{ld} um den gleichen Betrag auf die gewünschte Produktionsleistung angepaßt werden kann, ohne das sich die Korngröße des Pulvers verändert oder sich der spezifische Gasverbrauch erhöht.

7. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis des Drucks oberhalb der Laval-Düse p_1 und unterhalb der Laval-Düse p_2 mindestens dem kritischen Druckverhältnis des verwendeten Verdüsungsgases entspricht, so daß das Gas im engsten Querschnitt der Laval-Düse Schallgeschwindigkeit erreicht.

8. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Druckver-

hältnis p_1/p_2 vorzugsweise >2 , besonders bevorzugt >10 ist.

9. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-8, dadurch gekennzeichnet, daß das Verdüsungsgas zwar vorgewärmt werden kann, aber nicht unbedingt vorgewärmt werden muß. 5

10. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-9, dadurch gekennzeichnet, daß die aus der Schmelzedüse ausgetretene Schmelze zwar mittels Strahlung aufgeheizt werden kann, aber nicht unbedingt aufgeheizt werden muß. 10

11. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelzedüse auch verunreinigte Schmelzen verdüsten werden können. 15

12. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-11, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der zu verdüsenden Schmelze um ein Metall, eine Metallegierung, ein Salz oder Salzgemisch oder um einen schmelzbaren Kunststoff handelt. 20

13. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-12, dadurch gekennzeichnet, daß der zu verdüsende Stoff nicht mit dem Verdüsungsgas reagiert, also inert gegenüber dem Gas ist.

14. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1-12, dadurch gekennzeichnet, daß der zu verdüsende Stoff mit dem Verdüsungsgas ganz oder teilweise reagiert. 25

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

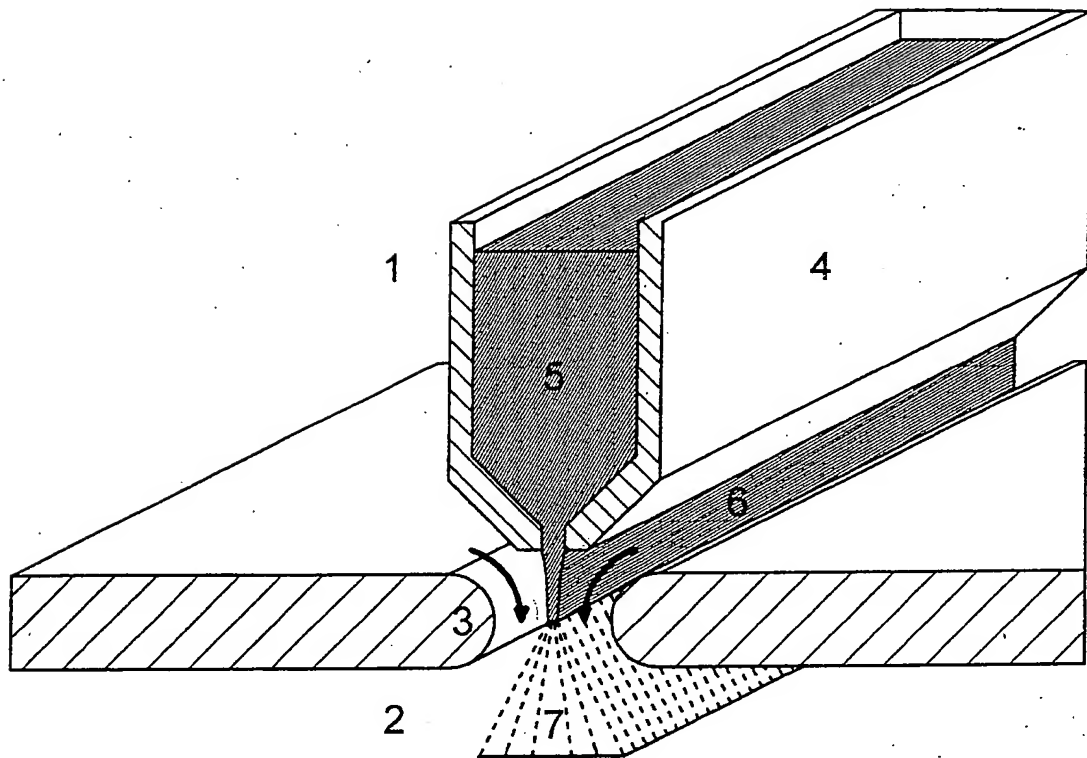
50

55

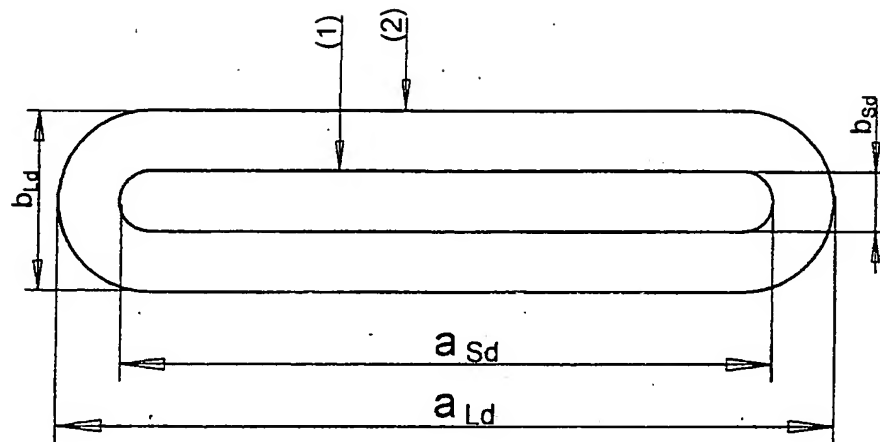
60

65

- Leerseite -



Zeichnung 1:
Übersichtszeichnung Verfahren zur Zerstäubung von Schmelzen unter
Verwendung filmbildender, linearer Düsen



Zeichnung 2:
Projektion des Austrittsquerschnitts der Schmelzedüse
auf den engsten Querschnitt der Laval-Düse
(nicht maßstabsgetreu)